

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 08-166244

(43)Date of publication of application : 25.06.1996

(51)Int.Cl.

G01C 19/56

G01P 9/04

(21)Application number : 06-334201

(71)Applicant : TOMIKAWA YOSHIRO

(22)Date of filing : 15.12.1994

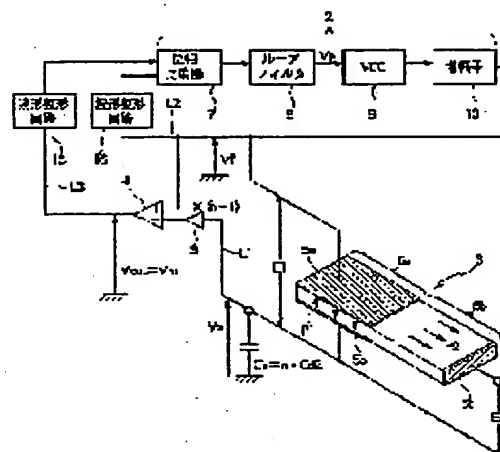
(72)Inventor : TOMIKAWA YOSHIRO

## (54) DRIVER OF PIEZOELECTRIC OSCILLATOR

## (57)Abstract:

PURPOSE: To reduce the heat generation by the loss of a dielectric, by resonating a piezoelectric oscillator by B type with high acuteness always with antiresonant frequency.

CONSTITUTION: An amplifier 3 amplifies the voltage applied to the reference capacity  $C_s$  connected to a piezoelectric oscillator 6a, and a differential amplifier 4 seeks the difference between drive voltage  $V_f$  and the voltage from the amplifier 3. Furthermore, a phase comparator 7 seeks the phase difference between the drive voltage  $V_f$  and the differential output voltage  $V_{out}$ , and controls the oscillation frequency of a voltage control oscillator 9, based on the phase comparison voltage  $V_p$ . By this PLL loop, the piezoelectric oscillator 6a is driven to resonate in B type with antiresonant frequency. By being capable of driving the piezoelectric element with B-type resonance, high acuteness can be obtained, and also even if it is driven with large amplitude, heating value can be suppressed.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

**This Page Blank (uspto)**

**This Page Blank (uspto)**

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平8-166244

(43)公開日 平成8年(1996)6月25日

(51)Int.Cl.<sup>4</sup>

G 0 1 C 19/56

G 0 1 P 9/04

識別記号

庁内整理番号

9402-2F

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数 5 F D (全 8 頁)

(21)出願番号

特願平8-334201

(22)出願日

平成6年(1994)12月15日

(71)出願人 591171057

富川 義朗

山形県米沢市林泉寺2丁目2番3-1号

(72)発明者 富川 義朗

山形県米沢市林泉寺2丁目2番地3-1号

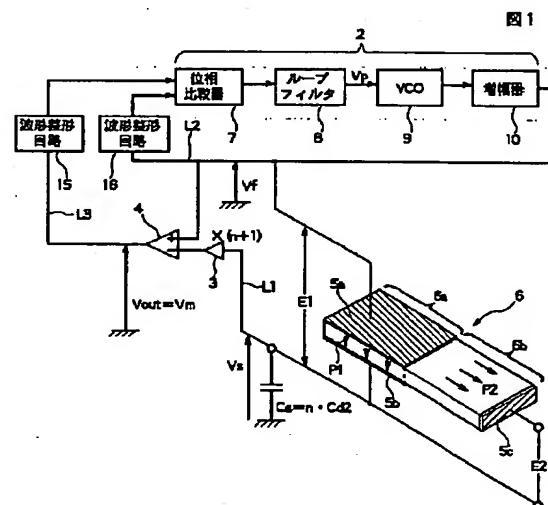
(74)代理人 弁理士 野▲崎▼ 照夫

(54)【発明の名称】 圧電振動子の駆動装置

(57)【要約】

【目的】 圧電振動子を常に反共振周波数にて高い尖鋭度にてB型共振させ、誘電体損失による発熱を低減できるようにする。

【構成】 圧電振動子6aに接続された基準容量Csにかかる電圧を増幅器3により増幅し、差動増幅器4にて駆動電圧Vfと増幅器3からの電圧との差を求める。さらに位相比較器7により駆動電圧Vfと差動出力電圧Voutとの位相差を求め、位相比較電圧Vpに基づいて電圧制御発振器9の発振周波数を制御する。このPLLループにより、圧電振動子6aは常に反共振周波数にて共振(B型共振)するように駆動されることになる。圧電振動子をB型共振にて駆動することにより、高い共振尖鋭度を得ることができ、また大振幅で駆動しても、発熱量を抑えることができる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 圧電振動子に接続された基準容量と、圧電振動子にかかる電圧から前記基準容量にかかる電圧の差を求める差動手段と、圧電振動子に与えられる駆動信号の位相と差動手段からの差動出力の位相とを比較する位相比較器と、位相比較器の出力に基づいて発振が制御される電圧制御発振器とを有し、電圧制御発振器からの発振周波数に基づく駆動信号が圧電振動子に与えられることを特徴とする圧電振動子の駆動装置。

【請求項2】 基準容量は、圧電振動子に直列に接続され、この基準容量にかかる電圧が増幅器により増幅され、差動手段では、圧電振動子と基準容量とにかかる駆動電圧と、増幅器により増幅された電圧との差が求められる請求項1記載の圧電振動子の駆動装置。

【請求項3】 基準容量が圧電振動子の制動容量 $C_d2$ の $n$ 倍であるときに、増幅器の増幅度がほぼ $(n+1)$ 倍である請求項2記載の圧電振動子の駆動装置。

【請求項4】 圧電振動子が定電圧により駆動され、位相比較器により比較された位相差が $90^\circ$ のときを基準として、電圧制御発振器の発振周波数が制御される請求項1ないし3のいずれかに記載の圧電振動子の駆動装置。

【請求項5】 圧電振動子が定電流により駆動され、位相比較器により比較された位相差が $0^\circ$ のときを基準として、電圧制御発振器の発振周波数が制御される請求項1ないし3のいずれかに記載の圧電振動子の駆動装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、圧電トランス、圧電モータ、または振動型ジャイロスコープなどに用いられる圧電振動子を駆動する駆動装置に係り、特に反共振周波数にて圧電振動子を共振させ、発熱の低下などを実現できる圧電振動子の駆動装置に関する。

【0002】

【従来の技術】図7は圧電振動子1を交流駆動電源部2により駆動している状態を示している。図8は交流駆動電源部2が定電圧源である場合に、圧電振動子に流れる電流 $I$ と駆動電力の周波数 $f$ との関係を示している。PZT系セラミック振動子などでは、圧電反作用により（圧電振動子の制動容量成分の影響により）2つの共振点が現れる。図8に示すように、交流駆動電源部2の駆動電力の周波数 $f$ を変化させると、A点とB点で極大電流と極小電流が現れる。A点は、圧電振動子1が共振状態となったときの共振周波数 $f_a$ に現れ、B点は圧電振動子1が反共振状態となったときの反共振周波数 $f_b$ に現れる。A点が共振点であり、B点が反共振点である。

【0003】A点（共振点）は圧電振動子1に流れる電流が最大になるときであり、B点（反共振点）は、圧電振動子1に流れる電流が最小で圧電振動子1にかかる電圧が最大になるときである。図9の（A）（B）はそれ

ぞれ圧電振動子の等価回路を表わしており、 $C_d1$ 、 $C_d2$ は制動容量、 $C_m1$ と $C_m2$ 、 $L_m1$ と $L_m2$ 、 $R_m1$ と $R_m2$ は、それぞれ共振時または反共振時の等価容量、等価インダクタンス、振動抵抗である。

【0004】また、交流駆動電源部2が定電流源である場合には、共振周波数 $f_a$ にて圧電振動子1にかかる電圧が極小になり、反共振周波数 $f_b$ で圧電振動子1にかかる電圧が極大になる。ここで、以下においては、電流が最大になるときの圧電振動子1の共振状態をA型共振と称し、電圧が最大になるときの圧電振動子1の反共振状態をB型共振と称する。

【0005】圧電振動子1を共振状態にて駆動するためには、交流駆動電源部2からの駆動電力の周波数が $f_a$ または $f_b$ に近いことが必要である。しかし、実際のPZT系セラミック振動子などでは、環境温度の変化や振動子自体の発熱により圧電振動子の弾性係数などが変化し、共振周波数が変動するものとなる。したがって、一定の周波数の駆動電力により圧電振動子を駆動する場合には、駆動電力の周波数を常に共振周波数に一致させることは困難である。そこで、最近では、駆動電力により圧電振動子1を駆動するとともに、この圧電振動子1に作用する電力を検出するセンサーを設けこのセンサーにて検出された電力に基づいて、あるいは駆動電圧とセンサーの検出電圧との位相差に基づいて、圧電振動子1の共振点の変動を追跡し、常に共振周波数に近い周波数の駆動電力を与えるようにした、共振点追尾型の駆動装置も考えられている。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】上記共振点追尾型の駆動装置としては、例えば圧電振動子1から検出される検出電流または検出電圧の位相が共振周波数 $f_a$ にて変化することを利用し、常にこの位相の変化点を追跡する回路構成が考えられる。しかし、PZT系セラミック振動子などでは、図8に示すように、接近した周波数帯域に共振周波数 $f_a$ と反共振周波数 $f_b$ とが存在し、共振周波数 $f_a$ と反共振周波数 $f_b$ の両点にて検出電流または検出電圧の位相が変動するため、実際には共振点と反共振点との区別が困難であり、例えば共振周波数 $f_a$ のみを追跡するのが困難である。

【0007】また、共振点追尾型の駆動回路として、コイルなどのインダクタンス素子を使用して反共振周波数 $f_b$ での検出電流または検出電圧の位相を変化させ、回路上にて共振周波数 $f_a$ のみを追跡させることも考えられる。しかし、上記のようにコイルなどのインダクタンス素子を介在させると、圧電振動子1から検出される電流または電圧がインダクタンスの影響を受けることになり、前述のように温度変化などによる共振周波数 $f_a$ の変動を高精度に追跡することが困難になる。

【0008】また、PZT系セラミック振動子などでは、共振周波数 $f_a$ にてA型共振で共振したときの共振

尖鋭度 $Q_a$ は、反共振周波数 $f_b$ にてB型共振で共振したときの共振尖鋭度 $Q_b$ よりも低くなる。これは圧電振動子の誘電体損失に起因するものである。したがって、周波数 $f_a$ を追尾するA型共振追尾型の駆動回路では、高い共振尖鋭度を得ることができない。またA型共振の追尾では、誘電体損失による発熱が大きくなる。この発熱によりさらに共振周波数 $f_a$ の変動が大きくなり、また大きな振幅での駆動を行おうとすると、発熱量が徐々に多くなり、最終的には圧電振動子を破損することもある。

【0009】本発明は上記従来の課題を解決するものであり、圧電振動子が常に反共振周波数 $f_b$ にて共振（B型共振）できるように、この周波数 $f_b$ を追尾して駆動電力を与えるようにし、常に共振尖鋭度が高く且つ発熱量の少ない周波数にて振動させることができるようにした圧電振動子の駆動装置を提供することを目的としている。

【0010】また本発明は、圧電振動子からの検出電圧がインダクタンスの影響を受けないようにして、常に反共振周波数の変動を高精度に追尾して駆動電力を与えることができるようにした圧電振動子の駆動装置を提供することを目的としている。

【0011】

【課題を解決するための手段】本発明による圧電振動子の駆動装置は、圧電振動子に接続された基準容量と、圧電振動子にかかる電圧から前記基準容量にかかる電圧の差を求める差動手段と、圧電振動子に与えられる駆動信号の位相と差動手段からの差動出力の位相とを比較する位相比較器と、位相比較器の出力に基づいて発振が制御される電圧制御発振器とを有し、電圧制御発振器からの発振周波数に基づく駆動信号が圧電振動子に与えられることを特徴とするものである。

【0012】上記において、基準容量を圧電振動子に直列に接続し、この基準容量にかかる電圧を増幅器により増幅し、差動手段では、圧電振動子と基準容量とにかかる駆動電圧と、増幅器により増幅された電圧との差が求められるものとするのが可能である。ここで、基準容量 $C_s$ が圧電振動子の制動容量 $C_d$ の $n$ 倍であるときに、前記増幅器の増幅度がほぼ $(n+1)$ 倍であることが好ましい。

【0013】また、圧電振動子が定電圧により駆動されるときには、位相比較器により比較された位相差が $90^\circ$ のときを基準として、電圧制御発振器の発振周波数が制御されるものとなり、または、圧電振動子が定電流により駆動されるときには、位相比較器により比較された位相差が $0^\circ$ のときを基準として、電圧制御発振器の発振周波数が制御されるものとなる。

【0014】

【作用】図3は、本発明の作用を説明するものであり、PZT系セラミック振動子などの圧電振動子1が交流駆

動電源部2により駆動されている状態を示している。圧電振動子1にかかる電圧を検出する回路では、圧電振動子1の等価回路を図3により表わすことができる。ここで $C_d$ 2は制動容量である。圧電振動子1単体を振動しないようにクランプし、駆動電圧 $V_f$ を与えると、制動容量 $C_d$ 2にかかる電圧 $V_d$ のみが得られる。この電圧 $V_d$ が制動容量 $C_d$ 2にかかる電圧である。共振時の等価容量 $C_m$ 2、等価インダクタンス $L_m$ 2、振動抵抗 $R_m$ 2は並列に接続されたものとして表現でき、この部分にかかる電圧 $V_m$ がB型共振でのモーシヨナル電圧である。

【0015】本発明では、圧電振動子1に基準容量 $C_s$ が直列に接続され、基準容量 $C_s$ の非接続側が接地されている（あるいは所定の電位となっている）。この基準容量 $C_s$ にかかる基準電圧を $V_s$ で示している。本発明では、圧電振動子1にかかる電圧 $(V_d+V_m)$ から前記基準電圧 $V_s$ の差が求められ、これにより制動容量 $C_d$ 2の影響が打ち消されまたは低減される。

【0016】図3では、基準容量 $C_s$ にかかる基準電圧 $V_s$ を増幅するための増幅器3が設けられ、さらに圧電振動子1および基準容量 $C_s$ にかかる駆動電圧 $V_f$ から、増幅器3からの出力電圧を差動する差動手段としての差動増幅器（オペアンプ）4が設けられている。図3では、基準容量 $C_s$ が制動容量 $C_d$ 2の $n$ 倍とされ、前記増幅器3の電圧増幅率がほぼ $(n+1)$ 倍に設定されている。圧電振動子1と基準容量 $C_s$ に流れる電流を $I_f$ とすると、電圧 $V_f$ と $V_s$ は数1により表わされる。

【0017】

【数1】

$$V_f = \left( Z + \frac{1}{j\omega C_d} + \frac{1}{j\omega n C_d} \right) I_f$$

$$V_s = \frac{I_f}{j\omega n C_d}$$

【0018】図3での差動出力 $V_{out}$ は、 $V_f$ から $V_s$ を $(n+1)$ 倍した電圧を差動したものである。よって $V_{out}$ は数2で求められる。

【0019】

【数2】

$$V_{out} = V_f - (n+1) V_s$$

【0020】数2に示すように、 $V_f = \frac{Z \cdot I_f}{j\omega n C_d} + V_m$ 、差動増幅器4から得られる差動出力 $V_{out}$ はモーシヨナル電圧 $V_m$ に等しくなる。すなわち、圧電振動子1にかかる電圧 $(V_d+V_m)$ から、制動容量 $C_d$ 2にかかる電圧 $V_d$ が回路上にて除去されたことになる。共振時の等価容量 $C_m$ 2、等価インダクタンス $L_m$ 2、振動抵抗 $R_m$ 2が並列に接続された等価回路に作用するモーシヨナル電圧 $V_m$ の周波数特性を図4に示す。図4では、反共振周波数 $f_b$ にてモーシヨナル電圧 $V_m$ がピークになりしかも周波数 $f$ の

変化に対してほぼ左右対称の特性が得られる。

【0021】これは、基準容量 $C_s$ にかかる電圧 $V_s$ を $(n+1)$ 倍し、 $V_f$ から $V_s(n+1)$ を差動することにより、制動容量 $C_d2$ にかかる電圧成分が回路上にて等価的に打ち消されたことを意味している。制動容量 $C_d2$ の電圧成分が打ち消され、実質的にモーショナル電圧 $V_m$ のみが検出されると、この検出出力（差動出力） $V_{out}$ では、共振周波数 $f_a$ すなわち電流が最大になるときの圧電振動子の共振点が現れなくなり、反共振周波数 $f_b$ のピークのみが得られる。

【0022】以上から図3に示す回路を用いると、差動出力 $V_{out}$ により反共振周波数 $f_b$ を検出できる。したがって、交流駆動電源部2の駆動周波数を $V_{out}$ にて得られた反共振周波数 $f_b$ を常に追尾するものに設定すれば、圧電振動子1を反共振周波数 $f_b$ にて共振させることができ、すなわち圧電振動子1を常にB型共振にて共振させることが可能になる。

【0023】次に、交流駆動電源部2から圧電振動子1に与えられる駆動電圧 $V_f$ の位相と、 $V_{out}$ の位相との関係を図5と図6に示す。図5と図6は、図3に示す回路において、 $C_s$ を $C_d2$ とほぼ同じ値とし（ $n=1$ ）、増幅器3の増幅率をほぼ2倍（ $n+1=2$ ）とした場合を示している。図5と図6において、横軸は周波数 $f$ である。 $V_{out}$ は差動増幅器4からの差動出力でありこれに対応する縦軸の単位は（dB）で表わしている。 $F$ は駆動電圧 $V_f$ と差動出力 $V_{out}$ との位相差であり、これに対応する縦軸の単位は（度：deg）である。

【0024】図5は交流駆動電源部2が定電圧源である場合を示している。図5において $V_{out}$ のピークは圧電振動子の反共振点（反共振周波数 $f_b$ ）に現れるが、駆動電圧 $V_f$ と差動出力 $V_{out}$ との位相差 $F$ は、反共振点にて変化し、 $V_{out}$ のピーク時（反共振点）での位相差は90度である。図6は交流駆動電源部2が定電流源である場合を示している。この場合も $V_{out}$ のピークは反共振点に現れ、駆動電圧 $V_f$ と差動出力 $V_{out}$ との位相差 $F$ は、ピーク点（反共振点）にて変化し、ピーク時での位相差は0度である。

【0025】図5と図6とから、位相比較器により駆動電圧 $V_f$ の位相と差動出力電圧 $V_{out}$ の位相との位相差を求め、位相比較器からの位相比較電圧に基づいて電圧制御発振器（VCO）の発振周波数を制御し、この発振周波数に基づいた駆動電力を圧電振動子1に印加すれば、常に反共振周波数 $f_b$ すなわちB型共振の共振点を追尾した駆動が可能である。

【0026】図5から、圧電振動子1が定電圧にて駆動される場合には、位相比較器に入力される両電圧の位相差が90度となるときを基準として電圧制御発振器の発振周波数を制御すればよい。また図6から、圧電振動子1が定電流にて駆動される場合には、位相比較器に入力さ

れる両電圧の位相差が0度のときを基準として電圧制御発振器の発振周波数を制御すればよいことになる。

【0027】上記の位相比較器および電圧制御発振器を主体として交流駆動電源部2を構成すれば、圧電振動子1を常に反共振周波数 $f_b$ を追尾するように共振駆動できる。前述のようにこのB型共振での圧電振動子1の駆動では、共振尖鋭度 $Q_b$ が高くなり、また誘電体損失が小さく、圧電振動子1の発熱を抑制でき、大振幅で振動駆動させる際の発熱を非常に小さくできる。

【0028】また、圧電振動子1にかかる電圧の検出系では、インダクタンス素子が介在していないため、検出電圧の周波数がインダクタンスの影響を受けることがなく、図5と図6に示すように反共振点（B型共振での共振点）と位相差の変化点を1対1に対応させることができる。そのため、位相比較器や電圧制御発振器を使用した一般的なPLL回路などの簡単な回路を用いて、常に圧電振動子を反共振周波数 $f_b$ にて駆動できるものとなる。

【0029】なお、図3に示すように、基準容量 $C_s$ が制動容量 $C_d2$ の $n$ 倍のときに、電圧増幅器3の増幅度が $(n+1)$ 倍であることが好ましいが、この電圧増幅器3の増幅度が正確に $(n+1)$ 倍でなくても、図4と近似して反共振周波数でのピーク出力を得ることは可能である。また上記 $n$ は整数に限られず、1.5や2.2などの小数でもよく、また1未満の $1/2$ や $1/3$ などの分数または小数であってもよい。

【0030】また、本発明では圧電振動子1の制動容量 $C_d2$ にかかる電圧成分を除去することが重要であり、そのために基準容量 $C_s$ を用いている。したがって、例えば、増幅器3を設ける代わりに（イ）の部分に増幅器を設け、この増幅器の増幅率を所定値に設定することにより、圧電振動子1にかかる電圧から制動容量にかかる電圧 $V_d$ を打消しまたは低減させることも可能である。また本発明での差動手段は、必ずしも差動増幅器4になるとは限られず、作動する電圧の位相などに応じて和動回路が用いられることもあり得る。

【0031】

【実施例】次に本発明の実施例を説明する。図1に示す第1実施例は、圧電振動子がPZT系セラミック振動子を使用した圧電トランス6である場合の駆動装置について示している。圧電トランス6は、一次側の圧電振動子6aの誘電分極方向がP1方向で、二次側の圧電振動子6bの誘電分極方向がP2方向である。一次側の圧電振動子6aでは分極方向を挟んで電極5aと5bが設けられ、二次側の圧電振動子6bでは、端面に電極5cが設けられている。一次側の圧電振動子6aの電極5aと5bには駆動電圧のうちの電圧E1が与えられ、二次側の圧電振動子6bでは、電極5bと5cとから電圧E2が出力される。図3の等価回路図に示すように、一次側の圧電振動子6aに与えられる電圧E1は、 $V_d + V_m$ 、

すなわち圧電振動子1にかかる電圧である。

【0032】この圧電トランス6の一次側の圧電振動子6aが図3に示す等価回路での圧電振動子1に相当している。一次側の圧電振動子6aの電極5bには基準容量Csが直列に接続され、基準容量Csの非接続側は接地されている（または所定の電位とされている）。基準容量Csと電極5bの中間から取り出されているラインL1の電位は図3でのVsである。電圧増幅器3は、基準容量Csにかかる電圧Vsを増幅するものである。基準容量Csが、一次側の圧電振動子6aの制動容量Cd2のn倍であるとき、電圧増幅器3の増幅度はほぼ $(n+1)$ に設定される。好ましくは $n=1$ であり、基準容量Csは制動容量Cd2とほぼ同じ値で、電圧増幅器3の増幅度はほぼ2倍である。

【0033】交流駆動電源部2は、位相比較器7、ループフィルタ8、電圧制御発振器(VCO)9、増幅器(電力増幅器)10により構成されている。ラインL2には、増幅器10から出力される駆動信号すなわち駆動電圧Vfが与えられている。差動増幅器(オペアンプ)4では、ラインL2の駆動電圧Vfと、電圧増幅器3からの増幅電圧 $\{V_s(n+1)\}$ との差が得られる。差動増幅器4からの差動出力は図3でのVoutに相当し、差動出力のラインL3の電圧は $V_{out}=V_m$ である(数2参照)。

【0034】位相比較器7では、ラインL2での駆動電圧Vfが波形整形回路16にて波形整形された電圧の位相と、ラインL3での差動出力電圧Voutが波形整形回路15により波形整形された電圧の位相との位相差が検出される。位相比較器7からの位相差検出出力は、ループフィルタ(ローパスフィルタ)8を経て高周波成分が除去され、位相比較出力すなわち位相比較電圧Vpが得られる。この位相比較電圧Vpが電圧制御発振器9に与えられる。電圧制御発振器9は前記位相比較電圧Vpによりその発振周波数が制御されるものである。電圧制御発振器9からの出力電力は増幅器10により増幅され駆動電力(駆動信号)となり、ラインL2にて一次側の圧電振動子6aの電極5a(電極5aとアース間)に与えられる。

【0035】ここで、交流駆動電源部2により、ラインL2を介して電極5a(電極5aとアース間)に定電圧の駆動電力が与えられる場合、駆動電圧Vfと差動出力電圧Voutとの位相差が90度のとき、位相比較電圧Vpが所定値となる。電圧制御発振器9の発振周波数は位相比較電圧Vpが前記所定値のときを基準として設定されている。そして、駆動電圧Vfと差動出力電圧Voutとの位相差が90度からずれると、位相比較電圧Vpが所定値から変動し、電圧制御発振器9の発振周波数が変化する。なお、位相比較電圧Vpは、例えば比較された位相差が0度のときを0、位相差が180度( $\pi$ )のときをVddとしたとき、位相差が90度( $\pi/2$ )のと

きの所定値が $V_{dd}/2$ である。

【0036】図1に示すPLLループにより、圧電トランス6の一次側の圧電振動子6aには、駆動電圧Vfと差動出力電圧Voutとの位相差が常に90度となる周波数の駆動電力(定電圧駆動電力)が与えられることになる。すなわち図3と図5に基づいて説明したように、一次側の圧電振動子6aは、常に反共振周波数fb(B型共振の周波数)を追尾するように駆動されることになる。

【0037】また、交流駆動電源部2により、ラインL2から電極5a(電極5aとアース間)に定電流の駆動電力が与えられる場合、駆動電圧Vfと差動出力電圧Voutとの位相差が0度のとき、位相比較電圧Vpが所定値となる。電圧制御発振器9の発振周波数は位相比較電圧Vpが所定値のときを基準として設定されており、位相差が0度からずれると、これに応じて電圧制御発振器9の発振周波数が変化する。この場合の位相比較電圧Vpは、例えば比較された位相差が-180度( $-\pi$ )のときが0、位相差が180度( $+\pi$ )のときがVddとしたとき、位相差が0度のときの所定値が $V_{dd}/2$ である。すなわちPLLループにより、常に駆動電圧Vfと差動出力電圧Voutとの位相差が0度となるような周波数の駆動電力が圧電トランス6の一次側の圧電振動子6aに与えられることになる。

【0038】このように、定電圧駆動と定電流駆動の双方において、圧電トランス6の一次側の圧電振動子6aは、反共振周波数fbにて共振するようになり、熱などにより圧電振動子の反共振周波数fbが変動したときにも、この変動を常に追尾するように駆動される。圧電振動子が常に反共振周波数fbにて共振駆動されることにより一次側の圧電振動子6aの共振鋭度Qbが高いものとなる。また誘電損失が小さい共振駆動であるため、圧電トランス6の発熱もわずかなものとなる。

【0039】図2は本発明の第2実施例を示している。この第2実施例では、圧電振動子1を含むモード変換型モータ11の駆動装置を示している。モード変換型モータ11では、ベース12と振動体13との間に厚み方向へ振動する複数枚の圧電振動子1が積層されて介在している。振動体13から延びる振動片13aの先端は傾斜面となっており、ロータ14も傾斜した軸Oを中心として回転するものとなっている。圧電振動子1の厚み方向への振動により、振動体13が図示左右方向へ振動すると、振動片13aとロータ14との当接部にて前記振動が、ロータ14の回転方向への力に変換される。

【0040】上記モード変換型モータ11の圧電振動子1の駆動装置の回路構成は図1に示したのと同じである。各圧電振動子1は厚み方向から挟む電極を有しており、一方の電極に基準容量Cs( $=n \cdot Cd2$ )が直列に接続されている。またこの基準容量Csにかかる電圧Vsを増幅する電圧増幅器3の増幅度は $(n+1)$ であ

る。位相比較器7では、駆動電圧 $V_f$ と差動出力電圧 $V_{out}$ との位相差が波形整形回路15、16を介して検出される。またループフィルタ8、電圧制御発振器9、増幅器10も図1に示したのと同じである。

【0041】図2の実施例でも、圧電振動子1が定電圧駆動される場合には、駆動電圧 $V_f$ と差動出力電圧 $V_{out}$ との位相差が90度のときに位相比較電圧 $V_p$ が所定値( $V_{dd}/2$ )となり、これを基準として電圧制御発振器9の発振周波数が設定されている。圧電振動子1が定電流駆動される場合には、駆動電圧 $V_f$ と差動出力電圧 $V_{out}$ との位相差が0度のときに位相比較電圧 $V_p$ が所定値( $V_{dd}/2$ )となり、これを基準として電圧制御発振器9の発振周波数が設定される。図2の圧電振動子1も、常に反共振周波数 $f_b$ にて共振するような周波数の駆動電力が与えられ、共振尖鋭度 $Q_b$ が高く、発熱量の少ないモータ駆動が行える。

【0042】また、図1と図2の実施例において、電圧増幅器3の増幅度は厳密な $(n+1)$ 倍である必要はなく、 $(n+1)$ 倍に近似した増幅度であれば、圧電振動子を反共振周波数 $f_b$ にてB型共振させることが可能である。また、基準容量 $C_s$ を使用し、コイルなどのインダクタンス素子を使用していないため、差動出力電圧 $V_{out}$ や駆動電力がインダクタンスの影響を受けることがなく、例えば温度変化などにより圧電振動子の反共振周波数 $f_b$ が変動しても、常にこれを追尾する駆動電力を与えることが可能である。

【0043】なお、本発明の圧電振動子は、図1または図2に示される装置に使用されるものに限られず振動型ジャイロスコープまたは加速度センサなどにも適用できる。振動型ジャイロスコープでは、例えばエリンパなどの恒弾性材料を圧電振動子により振動させ、これを回転系内に設置してコリオリ力により弾性材料を駆動方向と異なる後方へ振動させ、検出用の圧電素子により、コリオリ力による振動が検出されて回転系の角速度が求められる。この振動型ジャイロスコープでの、前記圧電振動子の駆動装置として本発明を適用することが可能である。

【0044】

【発明の効果】以上のように本発明では、常に圧電振動子をB型共振の共振周波数にて共振させることができ、共振尖鋭度を高くでき、また誘電体損失による発熱も抑

制できるようになる。

【0045】またコイルなどのインダクタンス成分を用いていないため、圧電振動子の共振周波数が熱などにより変動しても、この共振周波数の変動を高精度に追尾して駆動することが可能になる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施例を示すものであり、圧電振動子として圧電トランスを駆動する場合の駆動装置を示す回路ブロック図、

【図2】本発明の第2実施例を示すものであり、圧電モータの圧電振動子を駆動する駆動装置を示す回路ブロック図、

【図3】本発明の原理を示すものであり、圧電振動子の等価回路を含む回路構成図、

【図4】図3の回路の差動出力電圧の周波数特性を示す線図、

【図5】図3の回路において、圧電振動子を定電圧駆動する場合の差動出力、および駆動電圧と差動出力電圧との位相差を示す線図、

【図6】図3の回路において、圧電振動子を定電流駆動する場合の差動出力、および駆動電圧と差動出力電圧との位相差を示す線図、

【図7】従来の圧電振動子の駆動装置を示すブロック図、

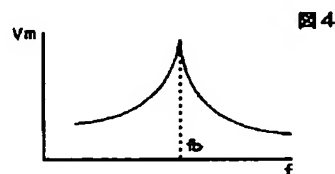
【図8】図7において圧電振動子を定電圧駆動したときに圧電振動子に流れる電流の周波数特性を示す線図、

【図9】(A)はA型共振時の圧電振動子を示す等価回路図、(B)はB型共振時の圧電振動子を示す等価回路図、

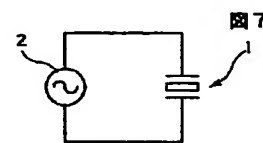
【符号の説明】

- 1 圧電振動子
- 2 交流駆動電源部
- 3 電圧増幅器
- 4 差動増幅器
- 6 圧電トランス
- 7 位相比較器
- 8 ループフィルタ
- 9 電圧制御発振器
- 10 増幅器
- 11 モード変換型モータ
- 15, 16 波形整形回路

【図4】

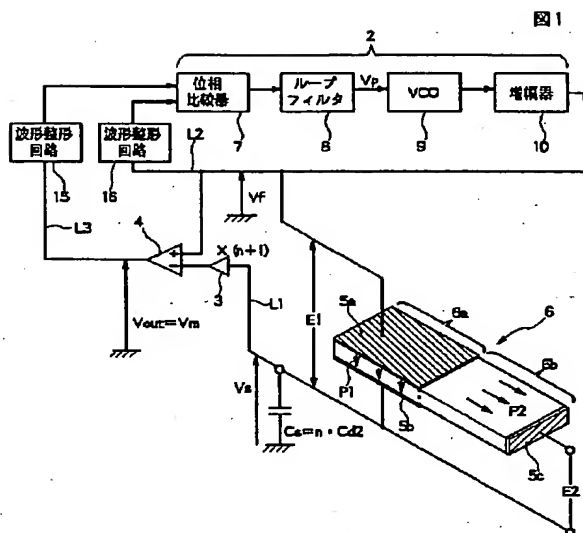


【図7】

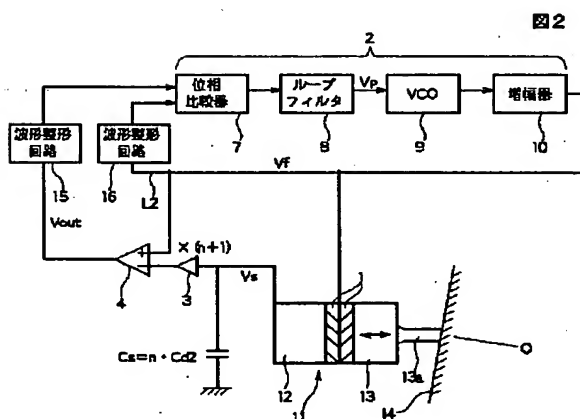




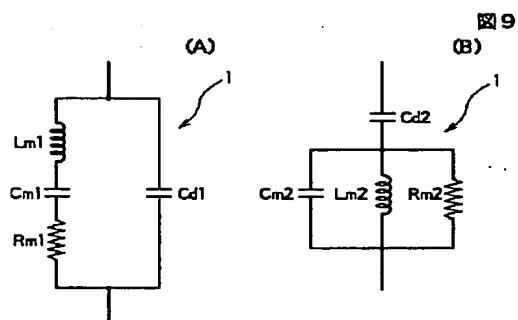
【図1】



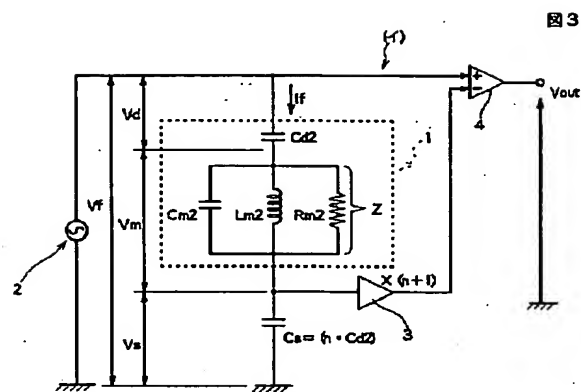
【図2】



【図9】



【図3】



【図8】

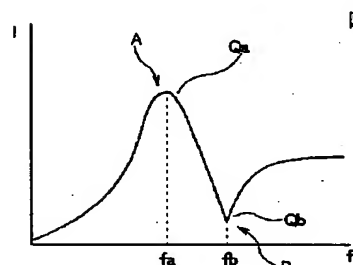


図8

【図 5】

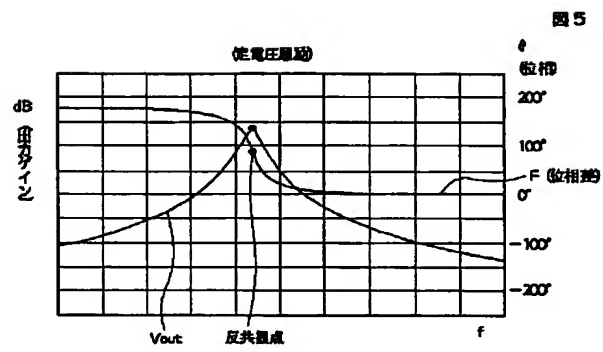


図 5

【図 6】

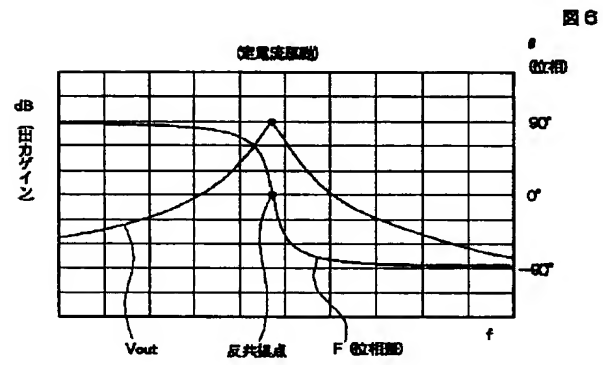


図 6